



ESTUDO MINERALÓGICO E QUÍMICO DA CASSITERITA E DE SUAS INCLUSÕES SÓLIDAS: IMPLICAÇÃO COM A PARAGÊNESE DAS MINERALIZAÇÕES DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DE SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS, BRASIL ¹

(Com 9 figuras)

RONALDO MELLO PEREIRA ²

CIRO ALEXANDRE ÁVILA ³

REINER NEUMANN ⁴

RESUMO: A Província Pegmatítica de São João del Rei ocupa uma área de cerca de 1400km² (70km de comprimento por 20km de largura) e abrange os municípios de Nazareno, São Tiago, Cassiterita, São João del Rei, Ritápolis e Coronel Xavier Chaves, na porção sul do Estado de Minas Gerais. Nesta província destaca-se a presença de um enxame de corpos pegmatíticos mineralizados em Sn e Ta, que cortam as rochas do *Greenstone Belt* Barbacena e de diversos corpos plutônicos paleoproterozóicos. Os corpos pegmatíticos, de idade não determinada, foram espacialmente associados ao Granitóide Ritápolis, cuja idade mínima de cristalização (evaporação de Pb em zircão) é de 2.121 ± 7 Ma. Análises semiquantitativas por MEV-EDS de grãos de cassiterita de oito amostras de quatro áreas desta província (Nazareno - São Tiago; Ritápolis; São João del Rei; e Coronel Xavier Chaves) apontam variações no conteúdo de SnO₂ (94,5 a 99,0% em peso), Ta₂O₅ (0,6 a 4,4% em peso) e Nb₂O₅ (0,1 a 1,0% em peso). Análises das inclusões sólidas encontradas nesses mesmos grãos de cassiterita por MEV-EDS indicam a presença de columbita-tantalita, tantalita, tantalita rica em Pb, tantalita rica em Mn, microlita, bariomicrolita, pirocloro, hafnã zirconífero, zircão hafnífero, zircão, esfalerita, biotita, albita, rutilo com nióbio e prováveis wodginita e ferrowodginita. As inclusões de zircão hafnífero, microlita e bariomicrolita nos grãos de cassiterita estudados indicam que a mineralização em estanho sucedeu à fase mineralizadora responsável pela cristalização destes três minerais, desenvolvendo-se, também durante a fase hidrotermal dos pegmatitos. Ainda em relação a paragênese das mineralizações pegmatíticas, indica-se que as inclusões de columbita-tantalita, tantalita, tantalita rica em Pb e tantalita rica em Mn, hospedadas na cassiterita apontam para o seu caráter tardio, em relação aos niobotantalatos.

Palavras-chave: pegmatito, cassiterita, inclusões sólidas, zircão hafnífero, Minas Gerais.

ABSTRACT: Mineralogical and chemical studies of cassiterite and its solid inclusions: relationship with the mineral paragenesis from the São João del Rei Pegmatite Province, Minas Gerais, Brazil.

The São João del Rei Pegmatite Province extends over 1400km² in the southern portion of the Minas Gerais State, Brazil. This pegmatite province is characterized by Sn-Ta bearing granite pegmatite swarms which are distributed along the Nazareno - São Tiago (Volta Grande pegmatites), Ritápolis (Paiol mine and Penedo pegmatites), São João del Rei and Coronel Xavier Chaves (Garimpo Cascalho Preto) areas. The pegmatites have expressive cassiterite - tantalite modal contents and cut the sequences of the Barbacena Greenstone Belt being spatially associated with the paleoproterozoic Ritápolis Granitoid (2.121 ± 7 Ma). Semi quantitative SEM-EDS analyses of cassiterite grains from the pegmatites of four areas indicate wide compositional range: 94,5 - 99,0% wt. of SnO₂; 0,6 - 4,4% wt. of Ta₂O₅ and 0,1 - 1,0% wt. of Nb₂O₅. Analysis of solid inclusions hosted in the cassiterite reveal the presence of columbite-tantalite, tantalite, manganotantalite, plumbotantalite, pyrochlore, microlite, bariomicrolite, zirconiferous hafnon, hafniferous zircon, zircon, sphalerite, biotite, albite, rutile with niobium and probable wodginita and ferrowodginita. The hafniferous zircon, bariomicrolite and microlite inclusions hosted in the cassiterite indicate that Sn mineralization process developed during a hydrothermal stage in the pegmatites bodies. The inclusions of columbite-tantalite, tantalite, manganotantalite and plumbotantalite in the cassiterite point to a late crystallization stage of this mineral in relations to the former niobates-tantalates.

Key words: pegmatite, cassiterite, solid inclusions, hafniferous zircon, Minas Gerais.

¹ Submetido em 18 de fevereiro de 2003. Aceito em 23 de março de 2004.

Projeto desenvolvido no Museu Nacional/UFRJ e na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Geologia Aplicada, Rua São Francisco Xavier 524/2019A, Maracanã, 20540-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: rmello@uerj.br.

³ Museu Nacional/UFRJ, Departamento de Geologia e Paleontologia, Quinta da Boa Vista, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: avila@mn.ufrj.br.

⁴ Centro de Tecnologia Mineral, Coordenação de Análises Minerais, Avenida Ipê 900, Ilha da Cidade Universitária, 21941-590, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica de São João del Rei (Fig. 1), situada na porção sul do Estado de Minas Gerais tem cerca de 70km de comprimento e 20km de largura, abrangendo os municípios de Nazareno, São Tiago, Cassiterita, São João del Rei, Ritápolis e Coronel Xavier Chaves. Ao longo do tempo, a área em questão recebeu diversas denominações, como Região Estanífera de São João del Rei (GUIMARÃES & GUEDES, 1944), Província Estanífera do Rio das Mortes (ROLFF, 1947, 1948), Província Estanho-Litínífera do Rio das Mortes (ROLFF, 1952), Província Metalogenética Estanho-Tantalífera de São João del Rei (GUIMARÃES, 1956), Província Pegmatítica de São João del Rei (FRANCESCONI, 1972; QUÉMÉNEUR, 1987) e Distrito Pegmatítico de São João del Rei (HEINRICH, 1964; PIRES & PIRES, 1992).

Dessa ampla província vem sendo extraída, desde há muito, uma série de recursos minerais, que incluem ouro, manganês, estanho e tântalo. O ouro foi o primeiro recurso a ser explorado e teve o seu apogeu durante os tempos coloniais, enquanto a cassiterita foi identificada por volta de 1940 e extraída, sobretudo das aluviões do córrego do Paiol, no antigo distrito de Santa Rita do Rio Abaixo (COELHO, 1942), hoje correspondendo à cidade de Ritápolis. Da exploração dos depósitos aluvionares e eluvionares, passou-se, rapidamente, para a lavra dos corpos pegmatíticos portadores de cassiterita e tantalita. Tornaram-se famosas na geologia do Brasil, dentre outras, as minas do Paiol em Ritápolis e do Volta Grande e Brasil nos municípios de Nazareno e São Tiago. Merecedoras de registro também foram os garimpos do Mato Virgem, Cavalo do Buraco, Socêgo e Cascalho Preto em Coronel Xavier Chaves e os pegmatitos de Penedo e Prainha em Ritápolis.

As reservas de cassiterita e tantalita dessa região foram rapidamente exauridas em virtude da intensa atividade mineira que lá ocorreu e por serem, em sua quase totalidade, representadas por depósitos primários e secundários de pequeno porte. Hoje são explorados somente os corpos pegmatíticos da área próxima ao Volta Grande, voltados principalmente para a produção de concentrados de tântalo (tantalita e microlita), estanho (cassiterita) e, futuramente, lítio (espodumênio).

Este trabalho tem como objetivo proporcionar uma nova abordagem sobre a paragénes mineral presente nos corpos pegmatíticos da região de São

João del Rei a partir dos resultados obtidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em diversos grãos de cassiterita.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Em relação à geologia, a região onde insere-se a Província Pegmatítica de São João del Rei é representada, em grande parte, por quatro conjuntos litológicos distintos (Fig.2): uma unidade *greenstone belt*, de idade desconhecida, composta de rochas vulcânicas/plutônicas ultramáficas e máficas intercaladas ou associadas com rochas metassedimentares, que foi correlacionada por PIRES & PORTO JÚNIOR (1986) ao *Greenstone Belt* Barbacena; corpos plutônicos paleoproterozóicos variando desde gabros até granitos (QUÉMÉNEUR & BARAUD, 1983; ÁVILA, 1992, 2000; TOLEDO, 2002; ÁVILA *et al.*, 2003; ÁVILA, TEIXEIRA & PEREIRA, 2004); rochas vulcânicas/subvulcânicas félsicas paleoproterozóicas da Suíte Serrinha (ÁVILA *et al.*, 1999; ÁVILA, 2000); e rochas metassedimentares proterozóicas das megassequências São João del Rei, Carandaí e Andrelândia (RIBEIRO *et al.*, 1995, 2003).

Dentre os diversos plutons félsicos de idade paleoproterozóica, destaca-se um corpo de proporções batolíticas, que tem recebido diferentes designações (Granito Ritápolis - QUÉMÉNEUR & BARAUD, 1983; Granito Santa Rita - PIRES & PORTO JÚNIOR, 1986; Granitóide Ritápolis - ÁVILA, 2000). Diversos autores (GUIMARÃES & GUEDES, 1944; FRANCESCONI, 1972; QUÉMÉNEUR & BARAUD, 1983; PIRES & PORTO JÚNIOR, 1986) propuseram que os corpos pegmatíticos, contendo tantalita, microlita, cassiterita e espodumênio, estariam associados àquele corpo batolítico, que possui idade mínima de cristalização (evaporação de Pb em zircão) de 2.121 ± 7 Ma (ÁVILA *et al.*, 1998).

Os corpos pegmatíticos mineralizados em cassiterita e tantalita encontram-se espalhados por toda a Província Pegmatítica de São João del Rei, enquanto os corpos litínicos (com cassiterita, tantalita e microlita) concentram-se na área de Nazareno e foram denominados de enxame de pegmatitos do Volta Grande. Este enxame é representado por uma série de corpos (A, B, C, D, E, F), que formam grandes massas lenticulares, subhorizontais, ricas em espodumênio e, secundariamente, em lepidolita e com teores anômalos de Cs e Rb (LAGACHE & QUÉMÉNEUR, 1997).

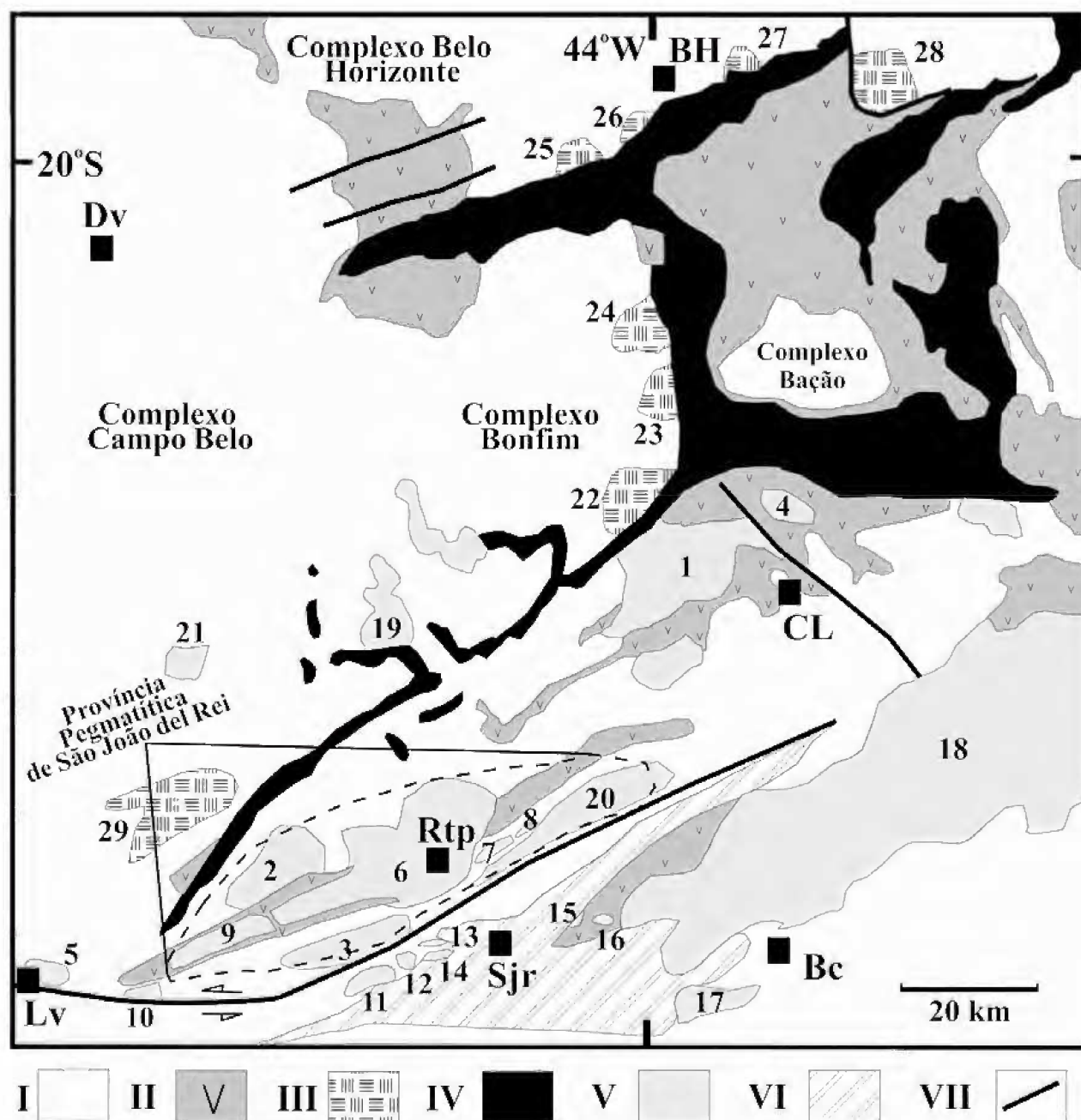


Fig.1- Mapa geológico esquemático da borda meridional do Cráton São Francisco com a localização aproximada da Província Pegmatítica de São João del Rei. Modificado de AVILA *et al.* (2003). Forma aproximada dos corpos plutônicos modificada de PEDROSA SOARES *et al.* (1994), ENDO (1997), NOCE, MACHADO & TEIXEIRA (1998), ÁVILA (2000) e TOLEDO (2002). (I) embasamento Arqueano parcialmente retrabalhado no Paleoproterozóico, (II) *greenstone belts* Rio das Velhas e Barbacena, (III) granitóides arqueanos, (IV) Supergrupo Minas (Paleoproterozóico - Sideriano), (V) gabros, dioritos e granitóides paleoproterozóicos, (VI) rochas metassedimentares proterozóicas: megassequências São João del Rei (Paleoproterozóico - Estateriano), Carandá (Mesoproterozóico) e Andrelândia (Neoproterozóico), (VII) falhas. Cidades: (Lv) Lavras, (Sjr) São João del Rei, (Rtp) Ritópolis, (Bc) Barbacena, (CL) Conselheiro Lafaiete, (Dv) Divinópolis, (BH) Belo Horizonte. Corpos plutônicos: (1) Batólito Alto Maranhão, (2) Trondhjemitó Tabuões, (3) Tonalito/Trondhjemitó Cassiterita, (4) Trondhjemitó Congonhas, (5) Granitóide Lavras, (6) Granitóide Ritópolis, (7) Diorito Brumado, (8) Quartzó Monzodiorito Glória, (9) Diorito Rio Grande, (10) Granitóide Itutinga, (11) Gabro São Sebastião da Vitória, (12) Quartzó Diorito do Brito, (13) Granodiorito Brumado de Baixo, (14) Suíte Serrinha (Granodiorito Brumado de Cima e corpos granofíricos), (15) Granitóide de Tiradentes, (16) Gabro Vitoriano Veloso, (17) Granito Campolide, (18) Complexo Ressaquinha, (19) Granito Alto Jacarandá, (20) Gnaíse Granítico Fê, (21) Granitóide Oliveira, (22) Granito Salto do Paraopeba, (23) Granodiorito Mamona, (24) Tonalito Samambaia, (25) Granodiorito Ibirité, (26) Granito Morro da Pedra, (27) Granito General Carneiro, (28) Granodiorito Caeté, (29) Granito Bom Sucesso.

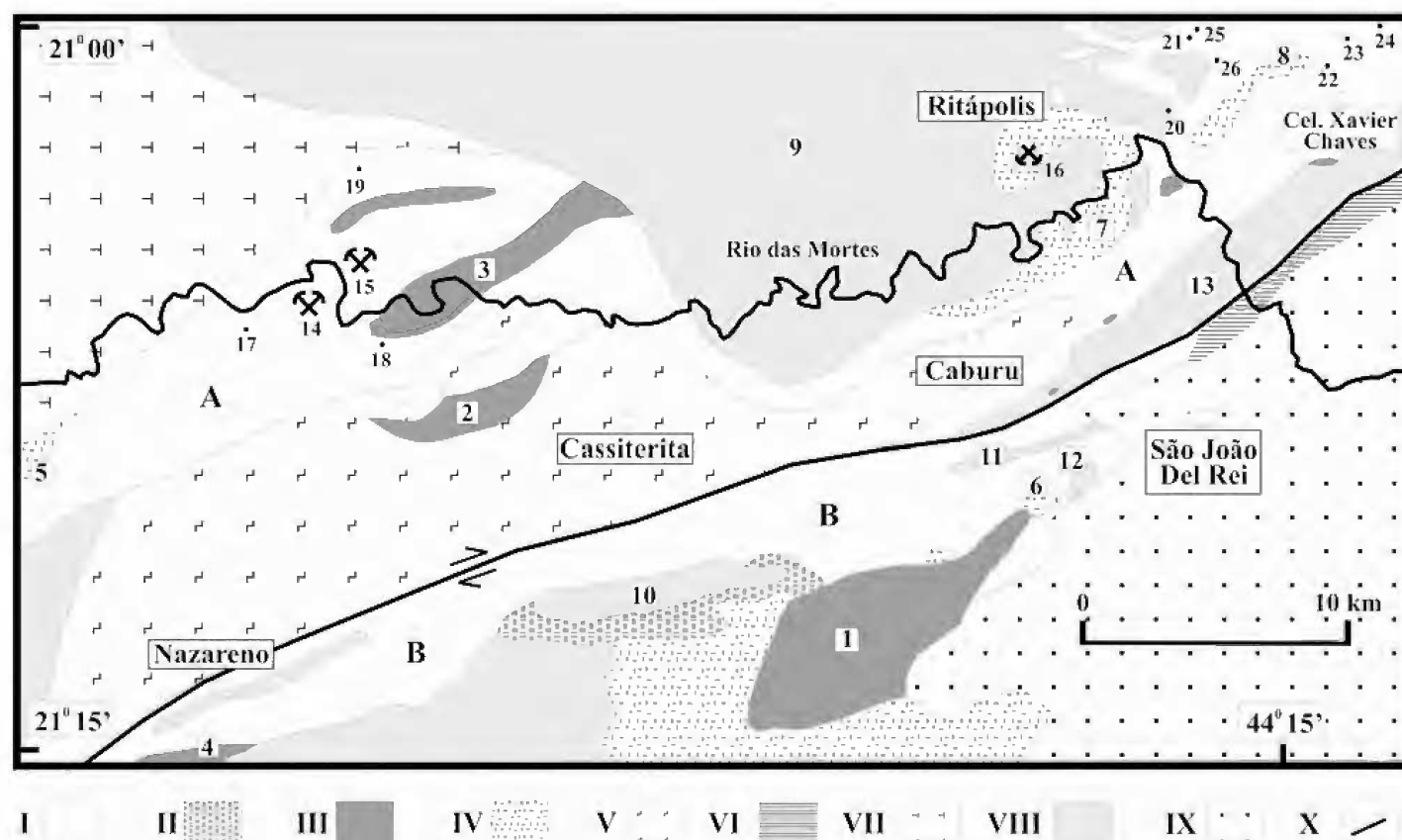


Fig.2- Mapa geológico da região entre as cidades de Nazareno e Coronel Xavier Chaves mostrando a distribuição dos principais corpos pegmatíticos explorados da Província Pegmatítica de São João del Rei. Modificado de ÁVILA *et al.* (2003). (I) gnaisses e rochas do *Greenstone Belt* Barbacena: (A) Faixa Rio das Mortes - predominância de anfibolitos, pelitos e gonditos, (B) Faixa Nazareno - predominância de rochas metaultamáficas komatiíticas, pelitos e quartzitos, (II) Peridotito-Piroxenito Forro, (III) piroxenitos/gabros, (IV) dioritos/quartzo dioritos, (V) Tonalito-Trondhjemitó Cassiterita, (VI) gnaiss granítico milonitizado, (VII) Trondhjemitó Tabuões, (VIII) granitóides paleoproterozóicos, (IX) rochas metassedimentares proterozóicas: megassequências São João del Rei (Paleoproterozóico - Estateriano), Carandá (Mesoproterozóico) e Andrelândia (Neoproterozóico), (X) falha transcorrente. (1) Gabro São Sebastião da Vitória, (2) Piroxenito-Gabro Manuel Inácio, (3) Gabro Rio dos Peixes, (4) Gabro Rio Grande, (5) Diorito Rio Grande, (6) Quartzo Diorito do Brito, (7) Diorito Brumado, (8) Quartzo Monzodiorito Glória, (9) Granitóide Ritópolis, (10) Granitóide do Lajedo, (11) Granodiorito Brumado de Baixo, (12) Suíte Serrinha (Granodiorito Brumado de Cima e corpos granofíricos), (13) Gnaiss Granítico Fê, (14) Mina do Volta Grande, (15) Mina Minas Brasil, (16) Mina do Paiol, (17) Pegmatito do Fundão, (18) Pegmatito Serra, (19) Pegmatito do Fumal, (20) Pegmatito Olaria, (21) Pegmatito Penedo, (22) Pegmatito Mato Virgem, (23) Pegmatito Socêgo, (24) Pegmatito Cascalho Preto, (25) Pegmatito Cavalo do Buraco, (26) Pegmatito Prainha.

MATERIAL ANALISADO

Foram estudados diversos grãos de cassiterita de oito amostras oriundas tanto de concentrados de minério dos corpos pegmatíticos, quanto de concentrados de minerais pesados de cursos d'água, que cortam corpos mineralizados de quatro áreas produtoras de Sn e Ta da Província Pegmatítica de São João del Rei. Estas áreas correspondem a: Nazareno - São Tiago (três amostras); Ritópolis (três amostras); São João del Rei (uma amostra); e Coronel Xavier Chaves (uma amostra).

Das amostras da área de Nazareno - São Tiago, a primeira corresponde a um concentrado de minério da Mina do Volta Grande (corpo A), que pertence à coleção de minerais do Museu Nacional sob o registro M-6864; a segunda amostra provém de um concentrado de bateia coletado em um pequeno córrego, que corta o corpo E da Mina do Volta Grande; a terceira amostra também é oriunda do acervo do Museu Nacional (M-6868), sendo proveniente de um concentrado de um pegmatito da região de São Tiago. Da área de Ritópolis foram analisados cristais de cassiterita de um concentrado de minério da Mina

do Paiol (M-6865, coleção de minerais do Museu Nacional) e de dois concentrados de bateia, coletados no córrego Carioca, situado na localidade de Penedo e no córrego Pernambuco, próximo da antiga estação de Ibitutinga. Ambos os córregos encontram-se situados na folha topográfica São João del Rei (SF-23-X-C-II-1) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:50.000.

Da área de Coronel Xavier Chaves foram retirados grãos de cassiterita de uma amostra de concentrado de bateia do córrego do Cascalho Preto, que recebeu durante anos o produto do rejeito do antigo garimpo do Cascalho Preto, enquanto na área de São João del Rei os grãos de cassiterita provêm de um concentrado de minerais pesados coletado nas cabeceiras do córrego do Cunha, Distrito de Caburu.

No presente estudo, não se teve acesso ao material que possibilitou a GUIMARÃES (1950) e GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) apontarem que a cassiterita está relacionada ao estágio magmático (cálcio-sódico) da evolução dos corpos pegmatíticos.

MÉTODO DE ANÁLISE

Seções polidas contendo grãos de cassiterita foram recobertas com carbono e analisadas semiquantitativamente via microscópio eletrônico de varredura (LEO S440) do Centro de Tecnologia Mineral, equipado com sistema de microanálise de raios X por espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS). As análises visaram à determinação da composição química das diversas amostras de cassiterita, bem como a caracterização de suas principais inclusões sólidas.

As imagens dos grãos de cassiterita e de suas inclusões sólidas foram geradas por detector de elétrons retro-espalhados, que produz níveis de cinza proporcionais ao peso atômico médio do material analisado. Foram obtidos espectros de composição química qualitativa por dispersão de energia em pontos de área de aproximadamente 1µm de raio, selecionados nas imagens. O equipamento foi calibrado com padrão de cobalto de pureza 99,995% a cada hora, de forma a eliminar ou minimizar os efeitos de flutuação na intensidade do feixe. O tempo de aquisição de espectro para o padrão e para cada análise foi de 100 segundos, mais a correção de *dead time*. O tempo de processamento foi fixado em quatro repetições. A quantificação dos elementos a partir dos espectros considerou correções de ZAF (números atômico e de massa, fluorescência) e foi realizada a partir da

utilização do programa SEMQUANT, da suíte Oxford ISIS L300, com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 133 eV para 5,9 keV.

Nas análises semiquantitativas por EDS foram utilizados padrões certificados fornecidos pela empresa inglesa Micro-Analysis Consultants Limited (padrão registrado nº3890), sendo Sn, Fe, Nb, Ta, Bi, Ti, Mn, Zr, Hf e W metais com pelo menos 99,9% de pureza, Na de jadeíta, In de InAs, Pb de PbTe, Ca de wollastonita sintética, U e Th são óxidos e Ba de BaF₂.

RESULTADOS OBTIDOS

Nos grãos minerais, os pontos selecionados para análise por MEV foram aqueles que se encontravam em áreas com aspectos bem homogêneos, sem apresentar variações nas tonalidades de cinza indicativas de zonamento composicional. Como precaução adicional, também, procurou-se fazer as leituras em regiões destituídas de inclusões sólidas e/ou fases exsolvidas, tomando-se o cuidado para que as mesmas estivessem afastadas o suficiente para que o feixe de elétrons incidisse somente nos locais selecionados.

Os teores de SnO₂ dos grãos de cassiterita das amostras estudadas variam de 94,5% a 99,0% em peso (Tab.1). Com relação aos demais óxidos, registra-se que o Ta₂O₅ é o mais abundante, sendo os maiores valores (4,2% a 4,4% em peso) determinados nas amostras provenientes das áreas de Nazareno - São Tiago e São João del Rei, enquanto Nb₂O₅ mostra concentrações sempre inferiores a 1% em peso, não tendo sido detectado na amostra oriunda do córrego Carioca, área de Ritápolis. Destaca-se, ainda, que os grãos de cassiterita de um concentrado de um pegmatito da região de São Tiago (M-6868), área de Nazareno - São Tiago, e os de um concentrado de minério da Mina do Paiol (M-6865), área de Ritápolis, apresentam expressivos conteúdos de Bi₂O₃ e In₂O₃, embora inferiores a 0,5% em peso.

Em relação às inclusões sólidas hospedadas nos grãos de cassiterita, constata-se que amostras das quatro áreas estudadas diferem quanto à quantidade e à diversidade mineralógica (Tab.2). Os grãos de cassiterita das amostras do pegmatito do Volta Grande (corpo A), área de Nazareno - São Tiago, possuem poucas inclusões sólidas, representadas por columbita-tantalita, tantalita rica em Mn e zircão hafnífero, enquanto os grãos de cassiterita da amostra da drenagem que corta o

corpo E, área de Nazareno - São Tiago, possuem microlita, zircão hafnífero (Fig.3), hafnã zirconífero (PEREIRA *et al.*, 2002, 2003), tantalita rica em Pb com cerca de 13,5% em peso de PbO (Fig.4) e rutilo rico em Nb com aproximadamente 25% em peso de Nb₂O₅ (Fig.5). Os teores de HfO₂ do zircão hafnífero variam entre 36,8 e 41,3% em peso, enquanto do hafnã zirconífero entre 47,7% e 48,4% em peso (PEREIRA *et al.*, 2003). As inclusões sólidas observadas nos grãos de cassiterita da amostra de um pegmatito da região de São Tiago (M-6868), área de Nazareno - São Tiago, são freqüentes e variadas, sendo observadas columbita-tantalita (com termos ora mais tantalíferos, ora mais niobíferos), microlita, pirocloro, bariomicrolita, zircão hafnífero (com cerca de 30% em peso de HfO₂) e possivelmente wodginita e ferrowodginita.

Na área de Ritápolis, os grãos de cassiterita da amostra oriunda da Mina do Paiol (M-6865) contêm poucas inclusões sólidas, sendo elas representadas por tantalita rica em Pb, pirocloro e, mais raramente, por zircão com teor muito baixo de HfO₂, em torno de 1% em peso. Já os grãos de cassiterita da amostra coletada no córrego Carioca possuem grande quantidade de inclusões sólidas, representadas por microlita, tantalita rica em Pb, columbita-tantalita, zircão hafnífero com até 20% em peso de HfO₂ (Fig.6), esfalerita, biotita e albita. Os grãos de cassiterita da amostra do córrego Pernambuco possuem, por sua vez, inclusões sólidas de columbita-tantalita, tantalita rica em Pb, microlita, albita, zircão hafnífero (com 19% em peso de HfO₂) e possivelmente ferrowodginita.

A maior diversidade mineralógica foi determinada nos grãos de cassiterita da amostra do córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves (Tab.2). Nesses grãos, as principais inclusões foram de tantalita, columbita-tantalita, tantalita rica em Pb, microlita, pirocloro, bariomicrolita (Fig.7), biotita e zircão hafnífero com cerca de 26% em peso de HfO₂. Nos grãos de cassiterita do córrego do Cunha, área de São João del Rei, poucas inclusões foram determinadas, sendo estas representadas por columbita-tantalita, tantalita rica em Pb (Fig.8) e possivelmente ferrowodginita.

O óxido de tântalo contendo estanho, ferro, nióbio e manganês, foi considerado no presente trabalho como um possível representante do grupo da wodginita (Tabs.2-3). Este mineral foi encontrado, até o presente momento, como inclusão nos grãos de cassiterita das seguintes amostras: pegmatito de São Tiago, área de Nazareno - São Tiago; córrego Pernambuco, área de Ritápolis; e córrego do Cunha, área de São João del

Rei. Na área de Nazareno - São Tiago, a composição química se assemelha à da wodginita propriamente dita, enquanto nas áreas de São João del Rei e Ritápolis a composição desse mineral assemelha-se àquela determinada por TINDLE, BREAKS & WEBB (1998) para a ferrowodginita (Tab.3).

Tabela 1. Composição química semiquantitativa (% em peso) por MEV-EDS de diversos grãos de cassiterita de amostras de quatro áreas mineralizadas da Província Pegmatítica de São João del Rei.

ÁREAS ESTUDADAS LOCAL DE AMOSTRAGEM	NAZARENO - SÃO TIAGO			RITÁPOLIS			CORONEL XAVIER CHAVES	SÃO JOÃO DEL REI
	○	■	□	▲	△	◇	◆	◆
FeO	-	0,3	0,3	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	0,2	0,1	0,3	-	-	-	1,0	0,7
SnO ₂	98,6	97,3	99,0	98,8	98,5	98,7	97,4	95,7
Ta ₂ O ₅	1,1	1,6	0,6	1,1	1,5	0,8	1,5	3,4
Bi ₂ O ₃	-	-	-	0,1	-	-	-	-
In ₂ O ₃	-	-	-	0,3	0,1	-	-	-
TOTAL	99,9	99,0	99,9	99,9	100,0	99,5	99,9	99,9
							100,0	99,7

(○) Volta Grande corpo E, (■) São Tiago, (□) Mina do Paiol, (▲) Córrego Carioca, (△) Córrego Pernambuco, (◇) Córrego do Cascalho Preto, (◆) Córrego do Cunha.

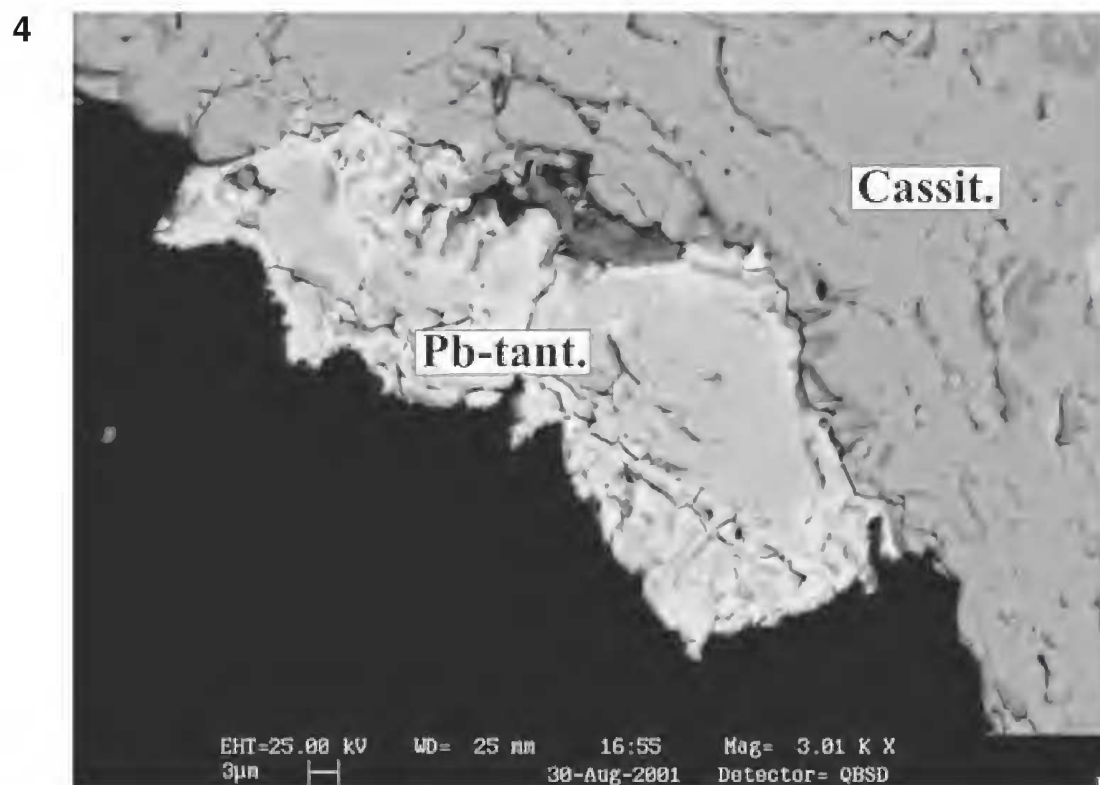
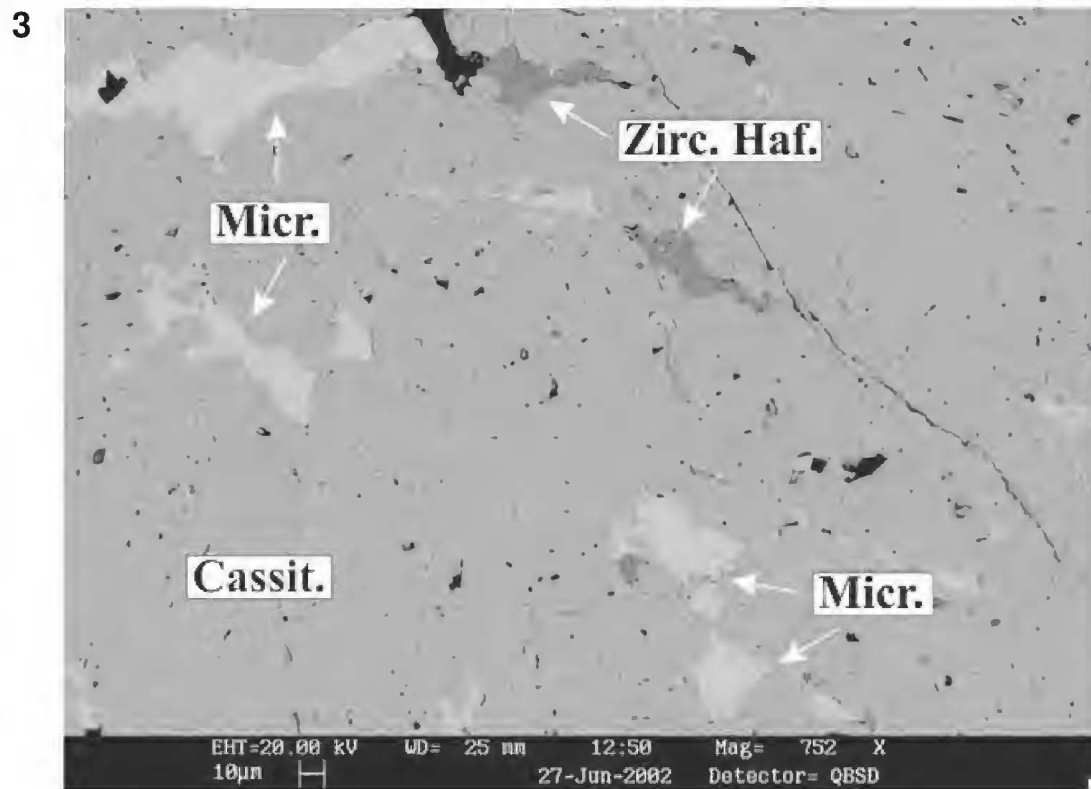
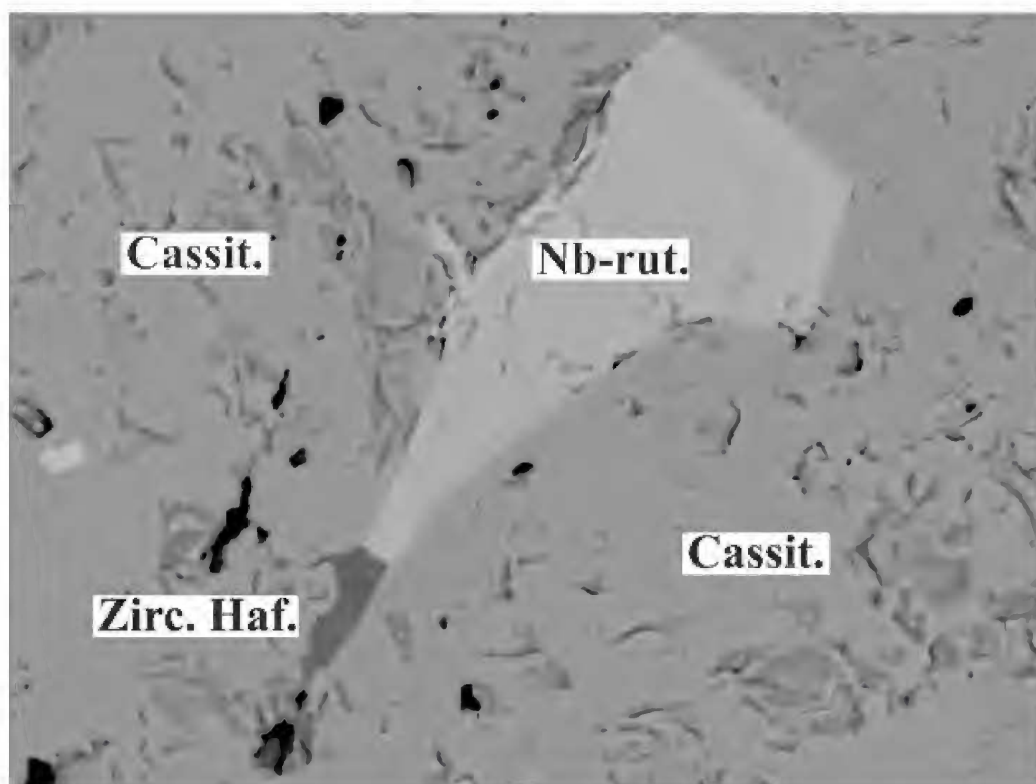


Imagem de elétrons retroespalhados em MEV mostrando: fig.3- diversas inclusões de microlita (Micr.) e zircão hafnífero (Zirc. Haf.) contidos em grão de cassiterita (Cassit.) da drenagem que corta o corpo E, área de Nazareno - São Tiago; fig.4- grão de tantalita rica em Pb (Pb-tant.) em contato com cristal de cassiterita (Cassit.) da drenagem que corta o corpo E, área de Nazareno - São Tiago.

5



6

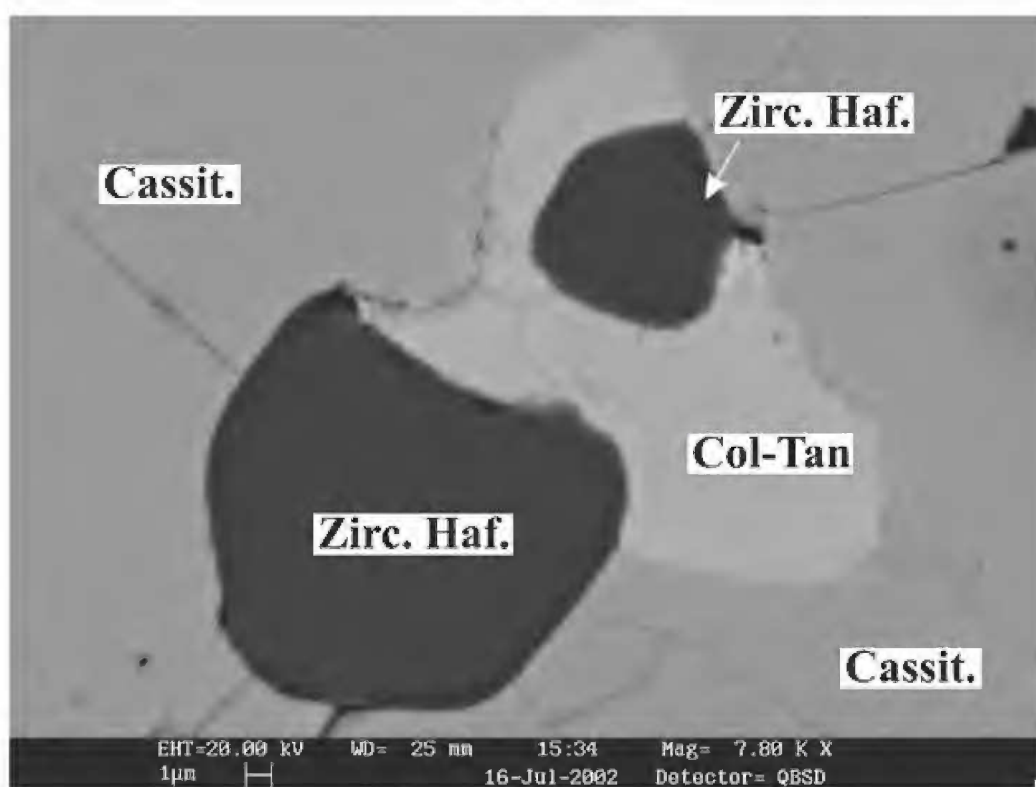


Imagem de elétrons retroespalhados em MEV mostrando: fig5- grão de rutilo rico em nióbio (Nb-rut.) e zircão hafnífero (Zirc. Haf.) hospedados em grão de cassiterita (Cassit.) da drenagem que corta o corpo E, área de Nazareno - São Tiago; fig.6- columbita-tantalita (Col-Tan) e zircão hafnífero (Zirc. Haf.) inclusos em grão de cassiterita (Cassit.) da drenagem do córrego Carioca, área de Ritópolis.

Tabela 2. Inclusões sólidas contidas em grãos de cassiterita de amostras de quatro áreas mineralizadas da Província Pegmatítica de São João del Rei.

ÁREAS ESTUDADAS	NAZARENO - SÃO TIAGO			RITÁPOLIS			SÃO JOÃO DEL REI	CORONEL XAVIER CHAVES
LOCAL DE AMOSTRAGEM	●	○	■	□	▲	△	◆	◇
Tantalita								x
Columbita-tantalita	x		x		x	x	x	x
Tantalita rica em Mn	x							
Tantalita rica em Pb		x		x	x	x	x	x
Microlita		x	x		x	x		x
Pirocloro			x	x				x
Bariomicrolita			x					x
Zircão				x				
Zircão hafnífero	x	x	x		x	x		x
Hafnã zirconífero		x						
Wodginita			x					
Ferrowodginita			x			x	x	
Esfalerita					x			
Albita					x	x		
Biotita					x			x
Rutilo com Nb		x						

(●) Volta Grande corpo A, (○) Volta Grande corpo E, (■) São Tiago, (□) Mina do Paiol, (▲) Córrego Carioca, (△) Córrego Pernambuco, (◆) Córrego do Cunha, (◇) Córrego do Cascalho Preto.

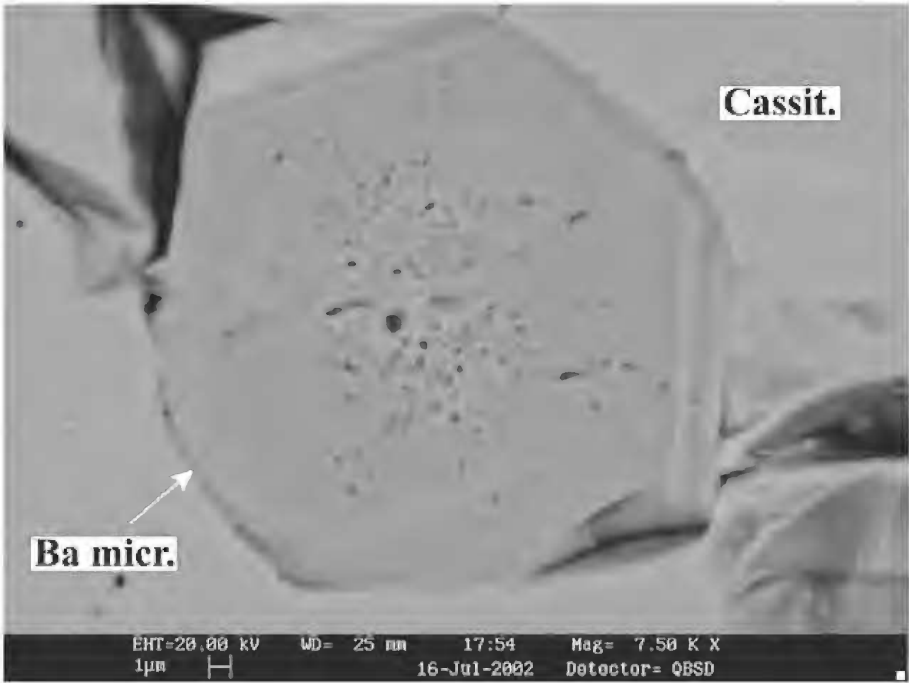


Fig.7. Imagem de elétrons retroespalhados em MEV mostrando bariomicrolita (Ba micr.) hospedada em grão de cassiterita (Cassit.) do Córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves.

Tabela 3. Composição química semiquantitativa (% em peso) por MEV-EDS de wodginita e de ferrowodginita inclusas em grãos de cassiterita de amostras da Província Pegmatítica de São João del Rei.

PROCEDÊNCIA	SEPARATION RAPIDS (CANADÁ) *						NAZARENO - SÃO TIAGO	RITÁPOLIS	SÃO JOÃO DEL REI
LOCAL DE AMOSTRAGEM	-----						■	△	◆
MINERAL	WODGINITA			FERROWODGINITA			WODGINITA	FERROWODGINITA	FERROWODGINITA
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,3
CaO	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-
TiO ₂	0,48	1,24	0,02	1,27	4,17	1,46	0,7	-	1,2
MnO	7,05	10,12	12,02	1,69	2,15	4,61	6,8	10,5	1,6
FeO	6,15	2,31	0,47	11,70	12,44	10,53	4,9	-	13,0
Nb ₂ O ₅	5,34	6,95	7,20	10,26	17,77	13,75	5,8	1,3	18,5
SnO ₂	14,02	15,02	17,56	18,80	10,45	11,55	14,5	16,8	12,0
Sc ₂ O ₃	0,03	0,03	0,00	0,08	0,46	0,00	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	62,82	63,66	61,47	55,08	52,42	54,35	67,0	70,8	52,6
PbO	0,03	0,03	0,02	0,11	0,03	0,10	-	-	0,2
UO ₂	0,09	0,00	0,00	0,13	-	0,02	-	-	-
ThO ₂	-	-	0,01	0,02	-	-	-	-	-
WO ₃	3,82	0,22	1,73	1,42	0,00	3,25	-	-	-
Total	99,83	99,58	100,50	100,56	99,89	99,62	100,0	99,6	99,5

(*) Dados compilados de TINDLE, BREAKS & WEBB (1998). Análise via *electron microprobe*. (■) São Tiago, (△) Córrego Pernambuco, (◆) Córrego do Cunha.

Verificou-se, ainda, que é variável a composição química de algumas fases minerais presentes como inclusões nos grãos de cassiterita. Este é o caso da microlita hospedada na cassiterita, que tanto pode apresentar pequenas variações na sua composição química (Fig.9, Tab.4), quanto variar amplamente de área para área (Tab.5). Dessa forma, a inclusão de microlita em cassiterita da amostra da drenagem que corta o corpo E da Mina do Volta Grande, área de Nazareno - São Tiago, se caracteriza pelo conteúdo de Na₂O entre 4,0 e 4,5% em peso, Ta₂O₅ entre 75,6% e 80,4% em peso, Nb₂O₅ < 4,0% em peso e pelas ausências de TiO₂ em todas as análises e de MnO e FeO na grande maioria. A microlita encontrada inclusa nos grãos de cassiterita da amostra do córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves, apresenta teores mais elevados de Nb₂O₅ (15,8% em peso). Em contrapartida, os conteúdos de Ta₂O₅ são os mais baixos, correspondendo em média a 56,4% em peso. As inclusões de microlita em grãos de cassiterita da amostra do Córrego Carioca, área de Ritápolis, destacam-se das demais em razão do conteúdo mais elevado de Fe₂O₃ (8,6% em peso),

enquanto as inclusões de microlita da amostra do córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves, destacam-se pelos teores de UO₃ da ordem de 6,0% em peso.

Tabela 4. Composição química (% em peso) por MEV-EDS de um grão de microlita incluso em cassiterita da amostra do pegmatito de São Tiago, área de Nazareno - São Tiago, Província Pegmatítica de São João del Rei. Os números indicam os pontos analisados na imagem da figura 9.

PONTOS DE ANÁLISE	1	2	3	4
Ta ₂ O ₅	73,7	73,1	80,6	79,1
Nb ₂ O ₅	5,1	6,4	2,6	3,2
CaO	15,6	15,1	15,0	15,1
Na ₂ O	0,7	0,7	0,4	0,5
TiO ₂	1,5	1,0	0,4	0,3
MnO	0,2	0,1	0,1	0,3
FeO	---	0,3	---	0,1
SnO ₂	2,9	2,3	0,7	0,7
Total	99,7	99,0	99,8	99,3

Tabela 5. Composição química semiquantitativa (% em peso) por MEV-EDS de diversos grãos de microlita inclusos na cassiterita de diferentes áreas da Província Pegmatítica de São João del Rei.

ÁREAS ESTUDADAS	NAZARENO - SÃO TIAGO									RITÁPOLIS			CORONEL XAVIER CHAVES
LOCAL DE AMOSTRAGEM	○					■				▲	△		◇
Na ₂ O	4,5	4,5	4,0	4,2	4,2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,8	
CaO	10,2	10,3	10,5	10,5	11,1	15,5	15,3	15,0	12,4	9,9	14,4	15,3	
TiO ₂	-	-	-	-	-	0,6	0,4	0,4	-	0,2	1,2	1,7	
MnO	-	-	-	-	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,6	0,5	0,1	
FeO	-	-	5,2	2,6	0,1	-	-	-	8,6	3,9	1,1	0,4	
Nb ₂ O ₅	2,2	3,1	2,4	4,0	2,0	5,2	5,0	2,6	7,5	3,2	8,0	15,8	
SnO ₂	2,0	1,5	2,2	1,0	2,2	2,0	2,0	0,7	1,3	5,0	2,8	2,1	
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,3	
Ta ₂ O ₅	80,4	79,6	75,6	77,4	79,4	76,2	75,4	80,6	69,4	71,4	70,7	56,4	
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	-	0,1	
UO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	
Total	99,3	99,0	99,9	99,7	99,3	100,1	98,8	99,8	99,8	99,3	99,3	99,0	

(○) Volta Grande corpo E, (■) São Tiago, (▲) Córrego Carioca, (△) Córrego Pernambuco, (◇) Córrego do Cascalho Preto.

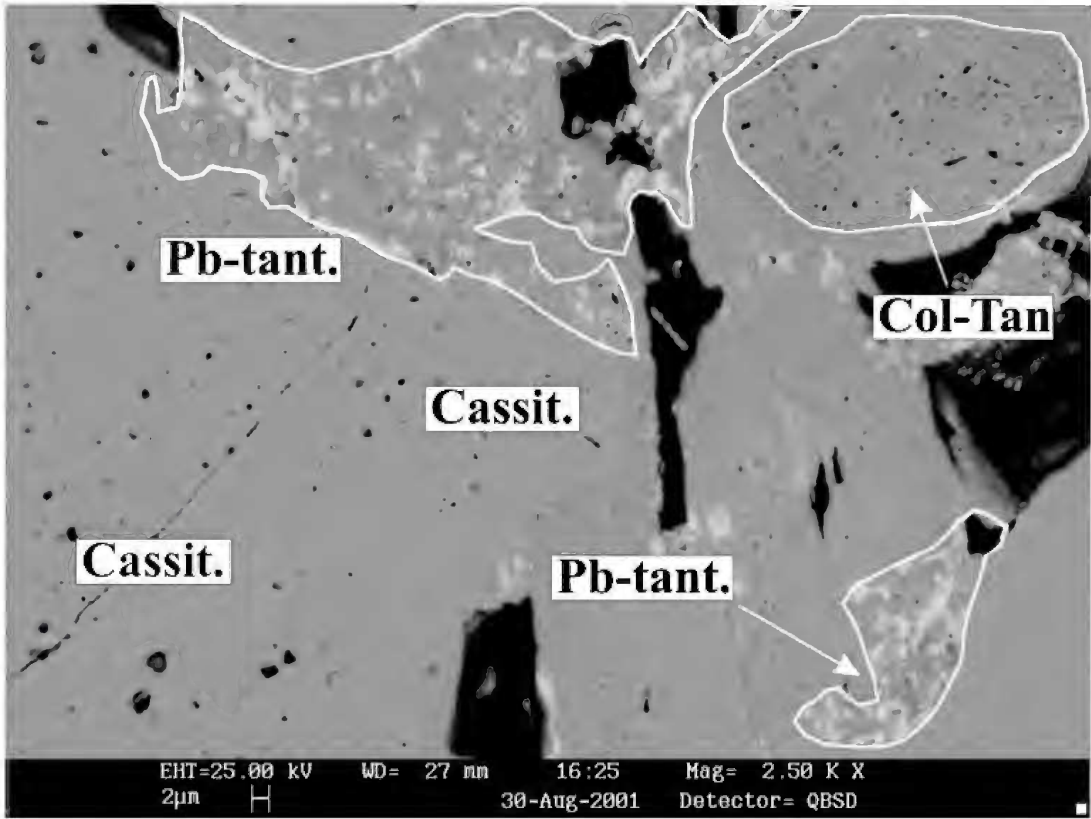


Fig.8. Imagem de elétrons retroespalhados em MEV mostrando inclusões de tantalita rica em Pb (Pb-tant.) e columbita-tantalita (Col-Tan.) presentes em grão de cassiterita (Cassit.) do córrego do Cunha, área de São João del Rei.

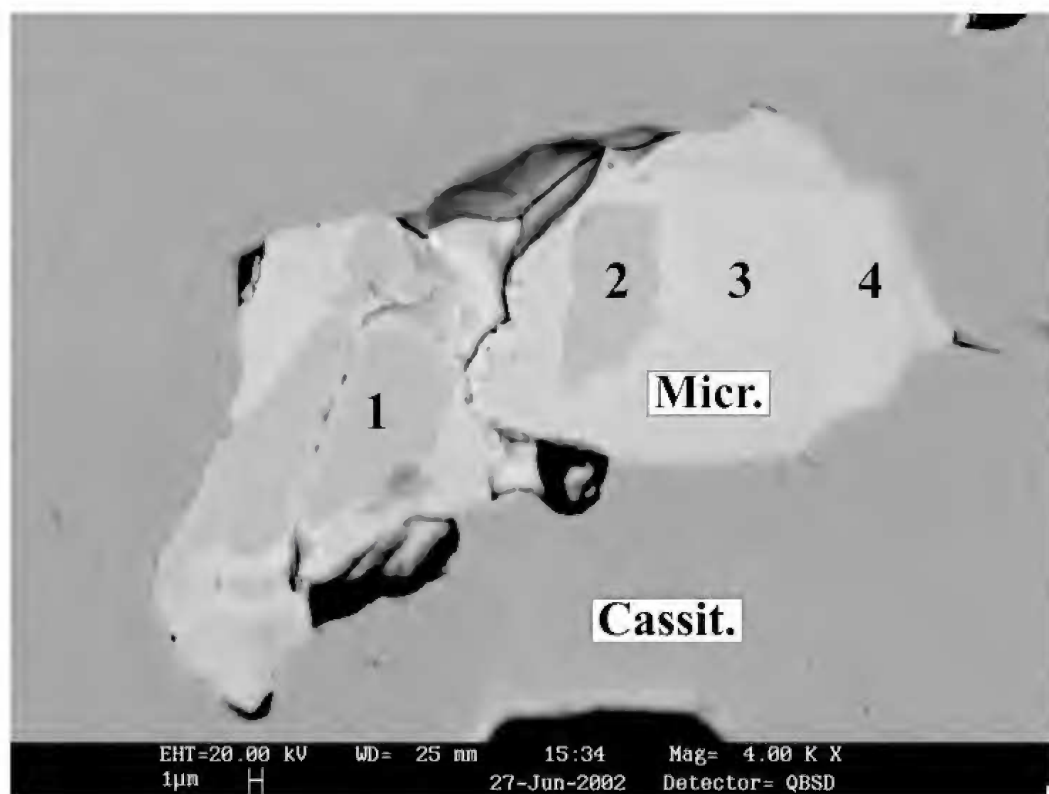


Fig.9- Imagem de elétrons retroespalhados em MEV mostrando microlita (Micr.) incluída em grão de cassiterita (Cassit.) da amostra do pegmatito de São Tiago, área de Nazareno – São Tiago. As diferentes tonalidades de cinza do grão de microlita estão associadas a variações composicionais do mesmo (vide Tab.4).

Diferenças composicionais também são observadas nas inclusões de pirocloro em grãos de cassiterita do concentrado da Mina do Paiol, área de Ritópolis e do concentrado do córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves (Tab.6), bem como nas inclusões de bariomicrolita em grãos de cassiterita do pegmatito de São Tiago, área de Nazareno - São Tiago e do córrego do Cascalho Preto, área de Coronel Xavier Chaves (Tab.7).

DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) e HEINRICH (1964) propuseram que a mineralização dos pegmatitos da área estudada no presente trabalho teria transcorrido em dois estágios, sendo o primeiro cálcico-sódico (magmático) e o segundo potássico (hidrotermal). A seqüência paragenética proposta por esses autores considera a formação da cassiterita como relacionada ao estágio magmático (juntamente com espodumênio) e contemporânea a tantalita, enquanto a geração da microlita e da bariomicrolita estaria relacionada a um estágio hidrotermal, que ocasionou a substituição dos

minerais formados durante o estágio magmático. Para GUIMARÃES (1950) e GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) a cassiterita não incluiria a microlita (djalmaita). Entretanto, ao contrário do proposto por esses autores, microlita e bariomicrolita foram observadas no presente trabalho como inclusões em grãos de cassiterita de três áreas (Nazareno - São Tiago, Ritópolis e Coronel Xavier Chaves).

No corpo E da Mina do Volta Grande foram identificados zircão hafnífero e hafnônio zirconífero incluídos na cassiterita (PEREIRA *et al.*, 2002, 2003). Nesse corpo a lepidolita predomina amplamente sobre o espodumênio, em consequência da forte transformação metassomática (RODRIGUES, 1998). Essa proposta se coaduna com as de GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) e HEINRICH (1964), que também consideraram a formação da lepidolita como relacionada à fase hidrotermal e originada a partir da substituição do espodumênio. Convém mencionar que no Maciço Central Francês, as bordas metassomatizadas dos pegmatitos graníticos de Chêdeville, ricas em lepidolita, são

fortemente enriquecidas em Zr, Hf e Th, sugerindo uma significativa mobilidade destes elementos no estágio metassomático (RAIMBAULT, 1998). Nos granitos tipo-I e tipo-A de Laoshan, China, ocorrem situações similares, com enriquecimento de Hf nos grãos de zircão formados durante a atividade hidrotermal (WANG *et al.*, 2000). De maneira análoga, pode-se considerar que a maior concentração de Hf e Zr nos corpos da Província Pegmatítica de São João del Rei, também tenha se dado no estágio hidrotermal, o que conseqüentemente permite que se indique uma origem hidrotermal para a cassiterita que hospeda o zircão hafnífero e o hafnã zirconífero.

Admite-se, a partir das relações observadas, que a mineralização de cassiterita da Província Pegmatítica de São João del Rei se estendeu, provavelmente, além do estágio magmático proposto por GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) e por HEINRICH (1964), avançando até o estágio hidrotermal. Essa proposta está adequada à hipótese de FRANCESCONI (1972), que considerou a cassiterita do Volta Grande como formada durante um estágio cálcico-sódico.

Ainda com referência à relação paragenética entre os diversos minerais presentes nos pegmatitos da região, pode-se indicar que, ao contrário de GUIMARÃES (1950) que defendeu a co-precipitação da tantalita e cassiterita no pegmatito de Volta Grande, este último mineral é mais tardio que os niobotantalatos (columbita-tantalita, tantalita, tantalita rica em Pb e tantalita rica em Mn), nele inclusos nas quatro áreas estudadas. GUIMARÃES (1950 e 1956) apontou ainda, que a uraniomicrolita formou-se tardiamente no Pegmatito do Volta Grande, já que esta hospeda inclusões de cassiterita.

PEIXOTO & GUIMARÃES (1953), GUIMARÃES (1956) e BELEZKJI (1956) sugeriram que a microlita teria se formado a partir da substituição da tantalita, enquanto HEINRICH (1964) sugeriu que nem toda microlita poderia ser derivada da transformação da tantalita. Segundo CERNÝ & ERCIT (1985), a substituição da columbita-tantalita por microlita é uma feição bastante comum em corpos pegmatíticos. Apesar de não se ter contemplado a microlita com estudos mais aprofundados, pode-se indicar, a partir dos dados obtidos com a análise das inclusões contidas na cassiterita, que pelo menos parte desta é proveniente da substituição da tantalita. Estudos futuros de maior detalhe nestes dois minerais poderão elucidar tal questão.

Tabela 6. Composição química semiquantitativa (% em peso) por MEV-EDS de dois grãos de pirocloro inclusos na cassiterita de diferentes áreas da Província Pegmatítica de São João del Rei.

ÁREAS DE ESTUDO	RITÁPOLIS	CORONEL XAVIER CHAVES
LOCAL DE AMOSTRAGEM	□	◇
CaO	14,8	11,8
TiO ₂	1,9	2,1
MnO	-	9,4
FeO	0,6	0,2
Nb ₂ O ₅	66,2	54,2
SnO ₂	1,3	1,2
BaO	-	0,5
Ta ₂ O ₅	14,8	19,8
PbO	0,4	-
UO ₃	0,2	-
Total	100,2	99,2

(□) Mina do Paiol, (◇) Córrego do Cascalho Preto.

Tabela 7. Composição química semiquantitativa (% em peso) por MEV-EDS de três grãos de bariomicrolita inclusos na cassiterita de diferentes áreas da Província Pegmatítica de São João del Rei.

ÁREAS DE ESTUDO	NAZARENO - SÃO TIAGO		CORONEL XAVIER CHAVES
LOCAL DE AMOSTRAGEM	■		◇
Na ₂ O	-	0,3	1,2
CaO	0,3	0,4	15,0
TiO ₂	1,5	0,7	2,9
MnO	0,1	-	0,2
FeO	-	6,2	-
Nb ₂ O ₅	9,8	4,1	17,8
SnO ₂	7,8	3,9	1,5
BaO	11,1	8,5	7,3
Ta ₂ O ₅	67,8	74,8	46,6
PbO	1,0	-	7,4
UO ₃	0,3	-	-
TOTAL	99,7	98,9	99,9

(■) São Tiago, (◇) Córrego do Cascalho Preto,

De acordo com FOORD & COOK (1989), a cassiterita derivada de pegmatitos é mais pura e contém menos microinclusões do que a de outras rochas. Com referência ao número de inclusões, essa observação é comum a diversos jazimentos pegmatíticos mundiais (MURCIEGO, GARCIA-SANCHES & MARTINS-POZAS, 1987; SUWIMONPRECHA, CERNÝ & FRIEDRICH, 1995; NEIVA, 1996). Não é o caso, porém, da cassiterita dos pegmatitos da suíte Fe-petalita de Separation Rapids, Canadá (TINDLE & BREAKS, 1998) e dos pegmatito de Sinceni, Suazilândia (TRUMBULL, 1995). Do mesmo modo, a cassiterita relacionada à Província Pegmatítica de São João del Rei também parece constituir uma exceção à referida proposta, pois a quantidade e a diversidade de microinclusões contidas em seus grãos são bastante significativas.

CONCLUSÕES

As inclusões de zircão hafnífero e hafnônio zirconífero na cassiterita apontam para a cristalização desta no estágio hidrotermal de evolução dos corpos pegmatíticos, visto que o enriquecimento em Hf está normalmente relacionado à atividade hidrotermal-metassomática. Admitindo-se que a microlita e bariomicrolita tenham sido formadas no estágio hidrotermal, propõe-se que a cassiterita que possui inclusões destes minerais também está associada a esse estágio.

Admite-se, ainda, que a geração de cassiterita nos corpos da Província Pegmatítica de São João del Rei está relacionada à pelo menos dois estágio: magmático, proposto por GUIMARÃES (1950), GUIMARÃES & BELEZKJI (1956) e HEINRICH (1964); e hidrotermal, a partir dos dados aqui apresentados.

Ainda em relação a paragénese das mineralizações pegmatíticas da presente província, indica-se que as inclusões de columbita-tantalita, tantalita, tantalita rica em Pb e tantalita rica em Mn hospedadas na cassiterita apontam para o caráter tardio desta, em relação aos niobotantalatos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Daniel Atencio (Universidade de São Paulo), pela leitura e sugestões ao manuscrito, e aos revisores anônimos, pelas discussões e correções apontadas. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ – proc.170.023/2003 para C.A.Ávila) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, C.A., 1992. **Geologia, petrografia e geoquímica das rochas Pré-Cambrianas (Unidade Metadiorítica Ibitutinga e Unidade Metatondhjemítica Caburu) intrusivas nas rochas do Greenstone Belt Barbacena, São João del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 265p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ÁVILA, C.A., 2000. **Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos Paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João Del Rei, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 401p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ÁVILA, C.A.; VALENÇA, J.G.; MOURA, C.A.V.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V., 1998. Idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de corpos metaplutônicos da região de São João Del Rei, borda sul do Cráton do São Francisco, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte. **Boletim de Resumos**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.75-78.
- ÁVILA, C.A.; DUTRA, D.C.; VALENÇA, J.G.; KLEIN, V.; RIBEIRO, A. & RAMOS, R.R.C., 1999. Suíte Serrinha: geoquímica das rochas sub-vulcânicas félsicas presentes na região de São João Del Rei, Minas Gerais. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5., e CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos Expandidos**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica, v.1, p.440-444.
- ÁVILA, C.A.; VALENÇA, J.G.; MOURA, C.A.V.; KLEIN, V.C. & PEREIRA, R.M., 2003. Geoquímica e idade do Tonalito-Trondhjemito Cassiterita, borda meridional do Cráton São Francisco, Minas Gerais. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, **61**(4):267-284.
- ÁVILA, C.A.; TEIXEIRA, W. & PEREIRA, R.M., 2004. Geologia e petrografia do Quartzo Monzodiorito Glória, Cinturão Mineiro, porção sul do Cráton São Francisco, Minas Gerais. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, **62**(1):83-98.
- BELEZKJI, V., 1956. Mineralização tantaló-estanífera e uranífera do município de São João del Rei, Minas Gerais. **Boletim do Departamento Nacional Produção Mineral – Departamento de Fomento a Produção Mineral**, Rio de Janeiro, **99**:1-42.
- CERNÝ, P. & ERCIT, T.S., 1985. Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites. **Bulletin de Minéralogie**, Paris, **108**(4):499-532.
- COELHO, I.S., 1942. Ocorrência de cassiterita em São João del Rei. **Mineração e Metalurgia**, Rio de Janeiro, **6**(36):288-289.
- ENDO, I., 1997. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais**. São Paulo. 243p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- FOORD, E.E. & COOK, R.B., 1989. Mineralogy and paragenesis of the McAllister Sn-Ta-bearing pegmatite, Coosa County, Alabama. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **27**(1):93-105.
- FRANCESCONI, R., 1972. **Pegmatitos da Região de São João del Rei – MG**. São Paulo. 101p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GUIMARÃES, D., 1950. A jazida de djalmaíta de Volta Grande, Rio das Mortes, Minas Gerais. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, **22**(1):51-71.
- GUIMARÃES, D., 1956. Concentrados estaníferos do município de São João del Rei, Minas Gerais. **Boletim do Departamento Nacional Produção Mineral – Departamento de Fomento a Produção Mineral**, Rio de Janeiro, **99**:43-72.
- GUIMARÃES, D. & BELEZKJI, V., 1956. The stano-tantalo-uraniferous deposits and occurrences in the region of São João Del Rei, Minas Gerais, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE PEACEFUL USES OF ATOMIC ENERGY. **Proceeding**, Genebra, v.6, p.143-146.
- GUIMARÃES, D. & GUEDES, S.V., 1944. Nota preliminar sobre a região estanífera de São João Del Rei, Minas Gerais. **Avulso do Departamento Nacional Produção Mineral – Departamento de Fomento a Produção Mineral**, Rio de Janeiro, **58**:13-26.
- HEINRICH, E. Wm., 1964. Tin – tantalum – lithium pegmatites of the São João del Rei District, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, Lancaster, **59**(6):982-1002.
- LAGACHE, M. & QUÉMÊNEUR, J.J.G., 1997. The Volta Grande pegmatites, Minas Gerais, Brazil: An example of rare-element granitic pegmatites exceptionally enriched in lithium and rubidium. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **35**(1):153-165.
- MURCIEGO, A.; GARCIA-SANCHES, A. & MARTIN-POZAS, J.M., 1987. Microinclusiones de cassiteritas de distintos tipos de yacimientos del centro-oeste de Espanã. **Cuadernos do Laboratorio Geologico de Laxe**, Corunã, **12**(3):273-288.
- NOCE, C.M.; MACHADO, N. & TEIXEIRA, W., 1998. U/ Pb Geochronology of gnaisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco Craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, **28**(1):95-102.
- NEIVA, A.M.R., 1996. Geochemistry of cassiterite and its inclusions and exsolution products from tin and tungsten deposits in Portugal. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **34**(4):745-768.
- PEDROSA SOARES, A.C.; DARDENNE, M.A.; HASUY, I.; CASTRO, F.D.C.; CARVALHO, M.V.A. & REIS, A.C., 1994. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: COMIG. (escala 1:1.000.000)
- PEIXOTO, F. & GUIMARÃES, D., 1953. Problemas de geocronologia. **Publicação da Escola de Engenharia do Instituto de Pesquisas Radioativas**, Belo Horizonte, **1**:1-35.
- PEREIRA, R.M.; ÁVILA, C.A.; NEUMANN, R.; NETTO, A.M. & ATENCIO, D., 2002. Hafnã zirconífero e zircão hafnífero na área da mina do Volta Grande, Província Pegmatítica de São João del Rei, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., João Pessoa. **Anais**, João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.605.
- PEREIRA, R.M.; ÁVILA, C.A.; NEUMANN, R.; NETTO, A.M. & ATENCIO, D., 2003. Bordas de hafnã zirconífero em zircão hafnífero da mina do Volta Grande, Província Pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil. **Boletim do Museu Nacional, Nova Série Geologia**, Rio de Janeiro (69):1-14.
- PIRES, F.R.M. & PIRES, H.L., 1992. Regional Zoning in the São João Del Rei Pegmatite District and Its Relation With The collisional Santa Rita Granite, Minas Gerais, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 37., São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.269-272.
- PIRES, F.R.M. & PORTO JÚNIOR, R., 1986. A mineralização de Sn-Ta-Nb-Li e o Granito Santo Rita, São João Del Rey, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 34., Goiânia. **Anais**, Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, v.5, p.2023-2034.
- QUÉMÊNEUR, J.J.G., 1987. Petrography of the pegmatites from Rio das Mortes valley, southeast Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, **17**(4):595-600.
- QUÉMÊNEUR, J.J.G. & BARAUD, E.R., 1983. Estrutura do embasamento Arqueano e geologia econômica da área pegmatítica de São João Del Rei - MG. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA MINAS GERAIS, 2., Belo Horizonte. **Anais**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Minas Gerais, v.1, p.449-460.
- RAIMBAULT, L., 1998. Composition of complex lepidolite-type granitic pegmatites and of constituent columbite-tantalite, Chedeville, Massif Central, France. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **36**(2):563-583.
- RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; ANDREIS, R.R.; PACIULLO, F.V.P. & VALENÇA, J.G., 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo -tectonismo brasileiro na margem sul do Craton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, **25**(4):235-248.
- RIBEIRO, A.; ÁVILA, C.A.; VALENÇA, J.G.; PACIULLO, F.V.P.; TROUW, R.A.J., 2003. Geologia da Folha São João del Rei (1:100.000). In: PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; TROUW, R.A.J. & HEILBRON, M. (Eds.) **Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro**. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG. v.3, p.1-101.
- RODRIGUES, I.J., 1998. **Efeitos metassomáticos nos pegmatitos litiníferos de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais**. Rio de Janeiro. 143p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ROLFF, P.A.M.A., 1947. A província estanífera do Rio das Mortes, Minas Gerais. **Revista da Escola de Minas, Ouro Preto**, **12**(3):25-28.
- ROLFF, P.A.M.A., 1948. A Província Estanífera do Rio das Mortes. **Revista da Escola de Minas, Ouro Preto**, **13**(3):5-10 e 20.

- ROLFF, P.A.M.A., 1952. Geologia da província Estanolitínifera do Rio das Mortes. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, **17**(6):3-12 e 39-40.
- SUWIMONPRECHA, P.; CERNÝ, P. & FRIEDRICH, G., 1995. Rare metal mineralization related to granites and pegmatites, Phuket, Thailand. **Economic Geology**, Lancaster, **90**(3):603-615.
- TINDLE, A.G. & BREAKS, F.W., 1998. Oxide minerals of the Separation Rapids granitic pegmatitic group, northwestern Ontario. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **36**(2):609-635.
- TINDLE, A.G.; BREAKS, F.W. & WEBB, P.C., 1998. Wodginite group minerals from the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, northwestern Ontario. **Canadian Mineralogist**, Ottawa, **36**(2):637-658.
- TOLEDO, C.L.B., 2002. **Evolução geológica das rochas máficas e ultramáficas no Greenstone Belt Barbacena, na região de Nazareno, MG**. Campinas. 307p. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, Universidade Estadual de Campinas.
- TRUMBULL, R.B., 1995. Tin mineralization in the Archean Sinceni rare-element pegmatite field, Kaapvaal Craton, Swaziland. **Economic Geology**, Lancaster, **90**(3):648-657.
- WANG, R.C.; ZHAO, G.T.; LU, J.J.; CHEN, X.M.; XU, S.J. & WANG, D.Z., 2000. Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, eastern China. **Mineralogical Magazine**, London, **64**(5):867-877.